

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCIII.

1906

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XV.

1° SEMESTRE.



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1906

Fisica. — *Misura del coefficiente di attrito interno dell'aria a basse temperature* (1). Nota del dott. SILVIO CHELLA, presentata dal Corrispondente A. BATTELLI.

La propagazione del movimento nei gas è stata l'oggetto delle più accurate ricerche da parte dei fisici, come quella che, legata direttamente al percorso medio molecolare, sembrava poter farci conoscere per la via più diretta la costituzione interna dei gas stessi. È noto infatti che dal percorso medio di una molecola si può risalire alle sue dimensioni, le quali concordano, almeno come ordine di grandezza, con quelle che si possono dedurre per vie affatto diverse.

È pur nota la semplice relazione che lega il coefficiente di viscosità η al percorso medio λ :

$$\lambda = k \frac{\eta}{\sqrt{p\rho}}$$

dove p e ρ sono rispettivamente la pressione e la densità del gas, mentre k sta a rappresentare un coefficiente puramente numerico molto prossimo a 1,8.

Però mentre son numerosissime le misure di attrito interno fra limiti di temperatura varianti fra 0 e 300°, scarseggiano quelle effettuate a temperature inferiori a 0°, e le ricerche mancano poi totalmente al disotto di — 20°. Mi è quindi sembrato opera di un qualche interesse, il completare lo studio del coefficiente di attrito interno dell'aria, a temperature molto basse; tanto più che l'impianto per la produzione dell'aria liquida nell'Istituto Fisico di Pisa, veniva opportunamente ad agevolare il lavoro.

Il metodo da me usato per la misura della viscosità dell'aria, e che consiste essenzialmente in quello dello smorzamento delle oscillazioni di un solido di rotazione, si trova esposto in una Nota precedente (2), assieme alla descrizione d'un apparecchio costruito appositamente per ovviare ad alcune cause di errore, che affettavano le determinazioni fatte da altri sperimentatori.

Esso consiste nella sua parte più importante in due cilindri coassiali tenuti fissi, fra i quali vien sostenuto, per mezzo di una sospensione bifilare,

(1) Lavoro eseguito nel Laboratorio di Fisica della R. Università di Pisa, diretto dal prof. A. Battelli.

(2) Rend. della R. Acc. dei Lincei, vol. XIV, 1° sem. 1905, p. 23.

provveduta del solito specchietto per le letture sopra una scala divisa, un cilindro cavo di pareti sottilissime.

Tanto la sospensione che il sistema dei cilindri sono rinchiusi in un apparecchio a tenuta, e il movimento all'equipaggio mobile viene trasmesso per mezzo di un ago magnetico, a cui è raccomandata la sospensione bifilare;

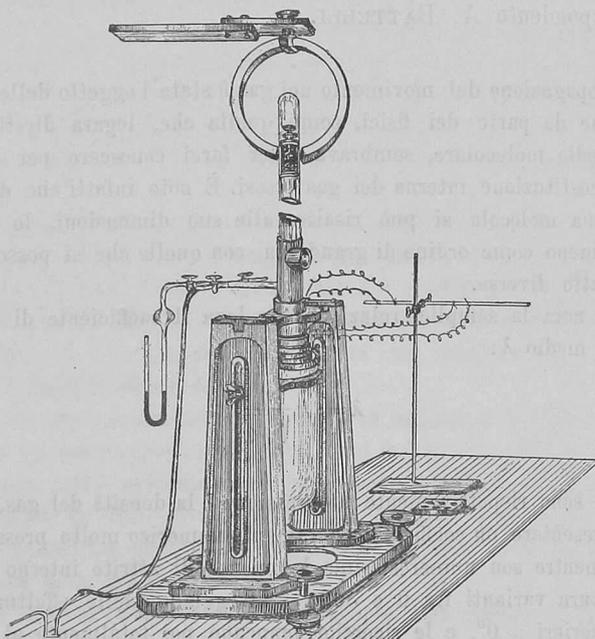


FIG. 1.

l'ago è mosso da un potente magnete permanente situato all'esterno e visibile in alto nella fig. 1^a.

La parte cilindrica dell'apparecchio ove avvenivano i fenomeni di attrito era immersa in una grossa provetta contenente un liquido che poteva esser tenuto agitato; e la provetta era a sua volta contenuta in un vaso cilindrico di vetro a doppia parete, in cui versavasi il refrigerante per portar il sistema dei cilindri alla temperatura voluta.

Per eliminare gli errori cui sopra ho accennato, i cilindri mobili adoperati nelle esperienze erano due, di ugual diametro e spessore, ma di altezze inversamente proporzionali alla densità dei due metalli diversi, di cui detti cilindri erano costituiti.

La misura delle due campanine mobili, una di ottone e l'altra di alluminio, le cui dimensioni figurano nella formola che dà il coefficiente di attrito

in funzione dello smorzamento delle oscillazioni, è stata fatta a mezzo di un comparatore di Froment dell'approssimazione di $\frac{1}{100}$ di mm. Questo comparatore fu verificato all'Ufficio Centrale di pesi e misure e la differenza per una lunghezza di cm. 20 è stata trovata di μ . 5.

Le dimensioni corrette sono, tenendo i simboli della Nota precitata, cioè chiamando con R_1 e R_2 rispettivamente il raggio esterno ed interno, e con h_1 e h_2 l'altezza esterna ed interna:

Campana di ottone	Campana di alluminio
R_1 cm. 2,3317	cm. 2,328
R_2 " 2,2635	" 2,2595
h_1 " 2,993	" 10,079
h_2 " 2,914	" 9,948

Come si vede, i raggi delle due campane, per quanto assai prossimi, non sono perfettamente uguali; d'altra parte, anche se si fosse potuta raggiungere questa identità per una determinata temperatura, essa sarebbe scomparsa per l'ineguale dilatazione dei metalli tosto che la temperatura fosse variata.

Val meglio quindi adoprare la formula

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_0 = \eta \left\{ \frac{k_1}{M_1} T_1 - \frac{k_0}{M_0} T_0 \right\}$$

dove ε_1 ed ε_0 sono decrementi ottenuti colle due diverse campane, M_1 e M_0 i loro momenti di inerzia, T_1 e T_0 i due periodi di oscillazione.

k_1 e k_2 sono due coefficienti numerici tali, però, che per una data coppia di campane $k_1 - k_0$ sia proporzionale prossimamente alla differenza delle loro altezze. M_1 e M_2 , T_1 e T_0 , come risulta dalla Nota antecedente, debbono risultar vicinissimi.

Per la misura di tali momenti d'inerzia, come per quella dei periodi, disponevo di un cronometro del tipo usato nella R. Marina, della fabbrica Dent, il quale portava il n. 3089.

L'equazione del tempo per questo cronometro era stata recentemente determinata nell'osservatorio astronomico di Arcetri.

Per quel che riguarda la misura delle temperature, mi son servito di due coppie termoelettriche identiche *rame-constantana*.

Ho saldato una delle coppie sulla parete esterna del cilindro fisso di diametro maggiore, e l'altra sull'interna del minore; mediante un commutatore a pozzette di mercurio, chiudevo l'una o l'altra delle due coppie sopra un galvanometro di grande resistenza (518 ohm), a cui avevo aggiunto 1500 ohm di resistenza interna.

Tale resistenza era sufficiente perchè potessi trascurare gli errori provenienti dalle variazioni di resistenza, necessariamente irregolari e malage-

voli per la misura, che avvenivano in quella parte del circuito del resto abbastanza esigua, la quale trovandosi nell'interno o nelle vicinanze dell'apparecchio di attrito, era esposta al raffreddamento dell'aria liquida.

Ho calibrato le coppie mediante un termometro campione di Baudin ad etere di petrolio. L'approssimazione di tale termometro è di $\frac{1}{2}$ grado per la temperatura di -200° F C.

Difficoltà molto gravi si presentarono allorchè volli ottenere, nei vari casi, una temperatura uniforme nel gas che sottoponevo all'esperienza, in modo che tale si mantenesse durante il tempo in cui facevo le determinazioni di smorzamento delle ampiezze delle oscillazioni.

La bocca del recipiente a doppia parete, nel quale era contenuto il refrigerante (aria liquida), era causa di un forte irraggiamento, così che dovetti ricorrere a un bagno di temperatura.

Dopo molti e laboriosi tentativi osservai che il metodo migliore consisteva nel portare tutto il sistema dei cilindri, fissi e mobili, alla più bassa temperatura realizzabile, pazientando che questa acquistasse una distribuzione bene uniforme. Dipoi lasciavo riscaldare l'apparecchio avendo cura di agitar incessantemente il bagno. Bastava che l'agitatore ristasse dal funzionare pochi minuti, perchè la differenza segnata dalle due coppie termoelettriche salisse a 3 o 4 centigradi.

Ad ogni modo non raggiunsi pienamente l'intento, se non quando assegnai all'insieme dei cilindri fissi una capacità termica piuttosto considerevole; condizione questa che, se rendeva difficile il raffreddamento, — al che potevasi rimediare impiegando maggior quantità di refrigerante — faceva sì che la variazione della temperatura fosse assai più regolare.

Per il bagno di temperatura che circonda la provetta, in cui si trova racchiusa la parte oscillante dell'apparecchio, dopo aver cimentato invano varie sostanze e miscugli, trovai conveniente usare l'etere di petrolio. È l'unico liquido che possa resistere alla temperatura dell'aria liquida senza gelare completamente; debbo tuttavia avvertire che, dovendo il bagno restare in presenza dell'aria, per poter essere agitato senza troppo complicare l'apparecchio, non tardava ad impregnarsi di sostanze estranee, di modo che s'intorbidava e a -150 gradi prendeva l'aspetto di un liquido assai vischioso, ma che pur si poteva sempre agitare in modo da mantenere la temperatura abbastanza uniforme.

A compiere le misure di smorzamento aspettavo che le due coppie segnassero la stessa temperatura nei limiti di $\frac{1}{2}$ centigrado.

Per il calcolo del coefficiente di attrito facevo due determinazioni, una colla campana di alluminio e l'altra con quella di ottone, assai prossime per modo da esser certo che le condizioni della sospensione bifilare non fossero variate.

Scelte nelle due determinazioni due temperature molto prossime, ne facevo la media, e per l'una e l'altra campana reducevo il decremento logaritmico alla temperatura media per via di interpolazioni. Erano questi gli ε_1 e ε_0 che introducevo nella formula.

Le tabelle qui riportate danno i valori ottenuti per il coefficiente di attrito in diverse serie di tali esperienze. Nella prima di esse sono stati riportati tutti gli elementi dei calcoli, e sono stati soppressi per ragione di brevità nelle altre.

$$\frac{k_1}{M_1} T_1 = 1117,70 \qquad \frac{k_0}{M_0} T_0 = 327,05$$

Temperatura	ε_1	ε_0	$\varepsilon_1 - \varepsilon_0$	η	Temperatura	Coefficiente di attrito interno
+ 21	0,083886	0,054153	0,029733	0,000193	21	0,000192
0	0,080575	0,051151	0,029424	191	— 37	156
— 21	0,077496	0,050383	0,027113	176	— 46	152
— 38	0,074159	0,050071	0,024188	157	— 55	137
— 48	0,072279	0,049994	0,022285	155	— 72	120
— 54	0,067512	0,046407	0,021105	137	— 82	106
— 70	0,064434	0,045640	0,018794	122	— 97	097
— 87	0,056160	0,040300	0,015867	103	— 115	059
— 118	0,049374	0,039822	0,009552	0,000062	— 145	024
— 130	0,047379	0,039676	0,007703	50	—	—
— 143	0,042652	0,038985	0,003697	24	—	—

Temperatura	Coefficiente di attrito interno
19	0,000191
0	188
— 11	184
— 22	173
— 45	152
— 60	133
— 73	177
— 89	098
— 98	087
— 106	079
— 132	042
— 144	021

Temperatura	Coefficiente di attrito interno
18	0,000190
— 5	187
— 30	186
— 43	155
— 59	137
— 74	117
— 86	102
— 102	061
— 123	051
— 140	028
—	—
—	—

Temperatura	Coefficiente di attrito interno	Temperatura	Coefficiente di attrito interno
+ 18	0,000191	17	0,000189
— 7	185	— 10	184
— 20	175	— 26	172
— 47	152	— 38	159
— 58	136	— 53	143
— 75	118	— 67	125
— 83	105	— 78	110
— 100	082	— 96	088
—	—	— 107	076
—	—	— 113	064

Non potendosi qui trattare di medie, non essendo i punti di temperatura uguali per tutte le serie, ho preferito determinare l'andamento dell'attrito interno coi soliti metodi grafici.

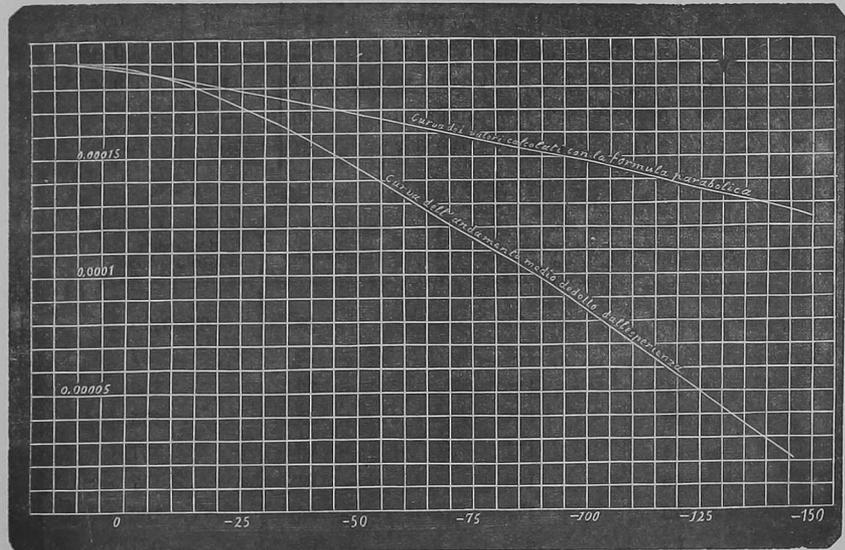


FIG. 2.

Ho ottenuto una curva riportata nella fig. 2^a, assieme alla grafica dei valori teorici calcolati colla formula parabolica.

Da questa tavola risulta a colpo d'occhio il rapido scostarsi del coefficiente di attrito interno dalla legge parabolica.

Ora, se riguardiamo le molecole come centri di una forza repulsiva, è naturale che al diminuire della temperatura, ossia della velocità molecolare, una molecola si possa meno avanzare nella sfera di azione di un'altra molecola. È quindi evidente, che nella teoria degli urti, il diametro fittizio di una molecola decresca quando la temperatura si eleva, giacchè l'urto in tale ipotesi comincia quando la traiettoria della molecola urtante devia dalla linea retta, ossia quando principia l'azione repulsiva della molecola urtata.

Sotto questo punto di vista le mie esperienze, d'accordo con quelle fatte a più elevate temperature, non sarebbero che una riconferma della teoria.

Se non che, per le temperature alle quali ho cimentato il gas, la divergenza dell'attrito interno dalla legge parabolica è notevolmente maggiore di quella osservata per temperature più elevate, e a spiegare la quale il Boltzmann avanzava l'ipotesi, che la forza repulsiva, posseduta dalla molecola, fosse proporzionale all'inversa della quinta potenza della distanza.

Per le temperature più basse la repulsione crescerebbe assai più rapidamente, e se vogliamo supporre l'azione molecolare proporzionale a $\frac{1}{r^n}$, r essendo la distanza di due centri di forza, n dovrebbe farsi molto maggiore di 5. Ma d'altra parte l'ipotesi del Boltzmann non è forse che un puro artificio, per dedurre in forma matematica alcune proprietà dei gas, ipotesi che potrebbe anche non aver alcun reale riscontro nel meccanismo con cui i gas trasmettono il movimento.

Se si deve attribuire l'azione molecolare tutta quanta al movimento trasmesso per mezzo dell'etere agli *ioni*, come ne fanno vedere la possibilità i lavori puramente teorici del Lorentz, a spiegare il rapido decremento dell'attrito, basterebbe supporre che, al diminuire della temperatura, oltre che la forza viva molecolare, decresca notevolmente il rapporto fra il numero delle molecole e degli ioni liberi; ipotesi che invero sembra essere confermata dall'esperienza.

Per ora le esperienze sull'attrito interno, fatte tenendo soltanto conto della variazione della temperatura, non possono darci una risposta attendibile; ma forse essa ci può essere fornita dallo studio dell'influenza che eventualmente possono esercitare nella viscosità dei gas le varie specie di radiazioni: studio a cui ora mi sto accingendo.